

硅酸铋晶体等密度透光特性*

朱 伟 利

中央民族学院, 北京, 100081

陈 岩 松

中国科学院物理研究所, 北京, 100080

1989 年 11 月 21 日收到

对硅酸铋(简称 BSO)晶体的电光非线性特性进行的实验中发现,当施加外电压于 BSO 晶体时,晶体呈现出某种光学等密度透光特性。本文基于双折射晶体的电光非线性,对此现象从机理上进行了分析,给出实验测量曲线,以及几个实例的实验结果。

PACC: 7280; 4265; 4260F; 4280K

一、引 言

BSO 晶体是一种光致折射晶体。由于它既具有 Pockels 效应,又能呈现光导特性,因而近年来这种非线性光学晶体已在光信息处理和光计算的研究领域中愈来愈受到人们的重视,被用于非相干-相干光转换^[1]、实时动态全息^[2,3]、光放大^[4]、位相共轭^[4],以及动态光学互连^[5]等等。最近有人把它与液晶结合使用实现双稳的空间光调制^[6]。上述许多研究都是在由 BSO 为主体构成的空间光调制器(PROM)上进行的。我们在对 PROM 器件的电光非线性特性的研究中,发现 BSO 晶体呈现一种有趣的等密度透光现象,这一现象迄今还未见报道。本文试图从 BSO 晶体的电光非线性特性出发,首先从机理上分析发生这一现象的可能性,然后通过实验测量,较系统地进行了研究,给出测量数据和几个灰度目标的不同实验结果。

二、BSO 透光特性的分析

BSO 是一种典型的电光非线性晶体,当沿垂直晶轴方向对它施加一定外电压,并同时以光照射时,晶体内的光生电荷(载流子)发生迁移,迁移量与入射的总光能量成正比。利用晶体的这一特性,可以把一幅光学图象输入晶体并转换成电荷潜象稳定地存贮下来。读出时,则利用晶体的电光双折射(Pockels)效应,使晶体内的电荷潜象再次转换为光学图象而输出。

电光双折射晶体的透射光强度 I 与电压 V 的关系可由下式表示^[7]:

* 国家自然科学基金资助的课题。

$$I = I_{\max} \sin^2 \left(\frac{\pi V}{2V_h} \right),$$

式中 V_h 为半波电压。当 $V = V_h$ 时, 得到最大透射光强 $I_{\max}$ 。上式表示的透射光强与电压之关系并不是一个单调函数, 此函数在 $V = 0$ 处有极小值。

作用于晶体的电压 V 由两部分组成, 一是由晶体内部电荷迁移造成的内电压 V_i , 另一是施加于晶体的外电压 V_e 。如果两者之和达到半波电压, 则透射光强最大; 如果两者之和为零, 则透射光强最小。内电压的高低依赖于晶体内电荷载流子的迁移量, 而迁移载流子的数量又直接依赖于曝光量。这就是说, 在曝光量与内电压之间有一确定的对应关系。当这个由光感生的内电压完全抵消外电压时, 即两者之和为零时, 其透射光强达极小值。设想用一阶梯形灰度目标板对晶体曝光, 则它感生的内电压也呈现阶梯形分布。若施加于晶体上的外电压与其中某一内压值恰好抵消时, 该内压所对应的灰阶内的透射光强极小。当连续改变这一外电压时, 目标的各灰度等级将以透射光强极小的形式逐个地相继呈现。这种现象从另一角度可以理解为提取光学图象的等密度切片, 即通过控制施加于晶体上的外电压, 可以实时地提取光学图象的等密度区。

三、实验与结果

图 1 为测量 BSO 晶体电光非线性的实验装置示意图。图 1 中的 PROM 由 BSO 晶片(取向 001)和两个透明电极构成, 它与一高压电源 (-2000V 至 $+2000\text{V}$ 可调) 相连接; 一卤钨灯 (30W , 6V) 作为对晶体曝光的光源; 快门 S 用于控制曝光量; L_1 和 L_3 为准直透镜; L_2 为成像透镜; 读出光使用氦氖激光 ($\lambda = 632.8\text{nm}$), 它先经过起偏器 P 和分束器 BS 照射至 PROM 上, 然后经过检偏器 A 输出, 并被位于输出平面 P_2 上的光电检测器检测。

为使 PROM 能够方便地在整个半波电压范围内操作, 其操作方式采用倍压模式。即

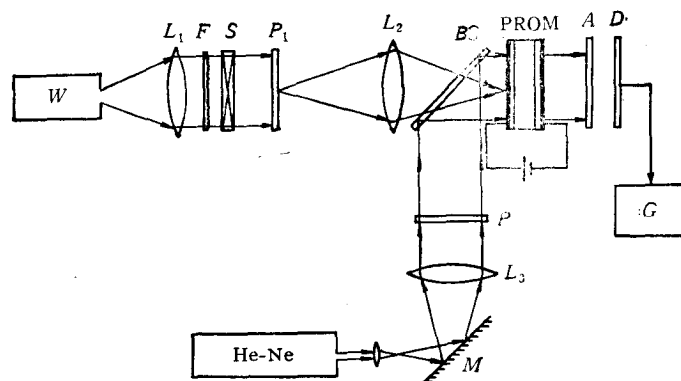


图 1 测量 BSO 电光非线性实验装置示意图 W 为卤钨灯; L_1, L_3 为准直透镜;
 L_2 为成像透镜; F 为漫散射屏; S 为快门; BS 为光分束器; He-Ne 为氦氖激光器; M 为
 平面反射镜; P 为起偏器; A 为检偏器; D 为硅光电检测器; PROM 为
 硅酸铍空间光调制器

先对它施加+2000V 外电压, 同时用均匀白光对 BSO 充分曝光, 随即迅速将该电压反向, 使施加于 BSO 两端电压为-2000V, 这样使晶体内实际电压达 4000V。这个电压十分接近晶体所需的半波电压 ($V_h = 3900V$), 此时可得到最大透射光强输出。在完成上述初始操作后, PROM 便进入工作状态。实验中用快门控制对它的曝光量, 同时改变施加其上的外电压。在 5 种不同外电压下 ($V_e = 0, \pm 1000, \pm 2000V$) 测量 PROM 的输出光透过率随曝光量的变化情况, 得到的 $T-\log E$ 曲线示于图 2。这些曲线显示出的函数关系并不是单调的, 而是存在一个透过率的极小值区, 此极小值区随参量外电压 V_e 的增加而逐步向左方位移。

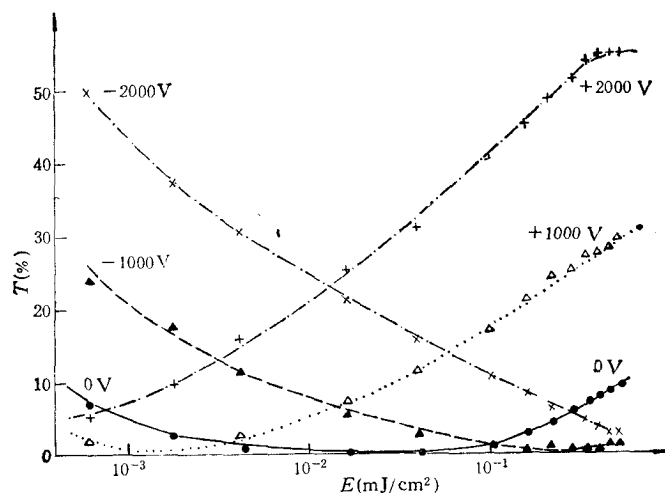


图 2 BSO 曝光特性曲线(以外电压 V_e 为参数)

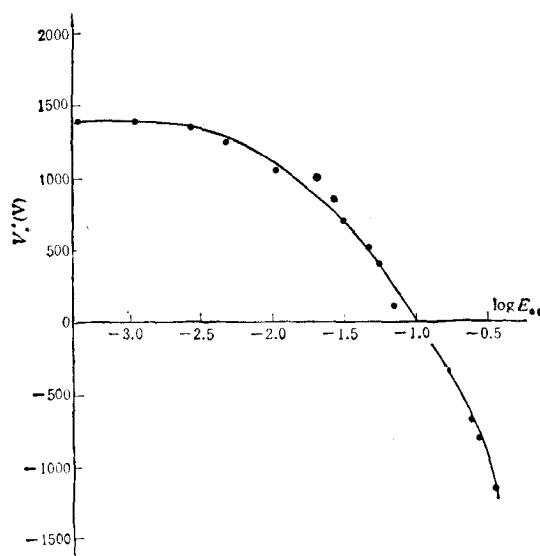


图 3 BSO 光学等密度特性曲线

为了获得外电压与透过率极小区相对应的曝光量之关系, 用一块含有 16 个光密度等级的阶梯板置于图 1 中的输入平面 P_1 , 对 PROM 进行曝光, 然后在输出平面 P_2 处观察

阶梯板图象的输出情况。对于一确定的外电压,阶梯板的某一阶区的透射光最弱,呈现出暗区。当改变外电压时,此暗区移至其它阶区。由此得到外电压 V 与暗区所对应的光密度(亦即曝光量 E_{00})之特性曲线,示于图 3 中。图 3 说明通过适当选取施加于晶体的外电压,可以按照需要任意提取一幅光学图象的等密度切片。

基于 BSO 电光非线性晶体的这种特性,对三种不同灰度分布的图形目标进行了提取等光密度切片的实验,图 4, 5, 6 分别示出所获得的实验结果(见图版 I)。其中图 4 为灰度分布连续变化的楔形目标的情况,(a)为该目标的光密度分布曲线,(b)至(f)为分别对应于某一外电压的等密度切片图(黑条纹处指明目标的某个密度区)。图 4 表明,随外电压的增加,等密度切片区向高密度区位移。图 5 为星形灰度目标的情况,(a)为目标的照片;(b)至(g)表明随电压递增等密度区逐步向内收缩,亦即它所指示的等灰度区的光密度逐渐升高。图 6 为含有三种不同灰度等级的由 16 个方块组成的矩阵形目标的情况,其中(a)为目标照片,(b),(c),(d)表明在三种不同外电压下以暗区形式突出其中某一灰度等级的照片。此种情况对于光学计算中实现可变程序的实时光学互连和光逻辑运算是很有用的。

四、讨 论

基于硅酸铍晶体的电光非线性特性,以它为主体构成的 PROM 器件呈现出一种光学等密度特性。这种特性可用于实时地提取图象的等密度切片,以及在当前新兴的光学计算中,诸如各种逻辑运算和神经网络中的光学互连等,具有良好的应用前景。

PROM 器件所显示的这种等光密度功能,其分辨率、灵敏度与动态范围等还有待进一步研究,因为作为主体的硅酸铍晶体的电光非线性、内部均匀性和加工质量等参数还难于精确地控制,而这些因素都将直接影响它的等光密度特性。

董碧珍在实验中给予了帮助,中国科学院上海硅酸盐研究所提供了实用的 PROM 器件,一并谨致谢意。

- [1] A. Marrakchi, *Opt. Lett.*, **13**(1988), 654.
- [2] Tien-Hsin Chao *et al.*, *Appl. Opt.*, **28**(1989), 226.
- [3] G. E. Dovgalenko *et al.*, *Sov. Phys. -Tech. Phys.*, **32**(1987), 1218.
- [4] Pochi Yeh *et al.*, *Opt. Eng.*, **28**(1989), 328.
- [5] S. Weiss *et al.*, *Appl. Opt.*, **27**(1988), 3422.
- [6] K. Takizawa *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **53**(1988), 2359.
- [7] B. A. Horwitz and F. J. Corbett, *Opt. Eng.*, **17**(1978), 353.

AN INVESTIGATION ON OPTICAL ISODENSITY PERFORMANCE OF CRYSTAL BSO

ZHU WEI-LI

Central Institute of Nationalities, Beijing, 100081

CHEN YAN-SONG

Institute of Physics, Academia Sinica, Beijing, 100080

(Received 21 November 1989)

ABSTRACT

In the experimental study on electro-optical non-linearity of crystal BSO, we observed that this crystal exhibits an optical isodensity performance when an external voltage is applied. In this paper the physical mechanism of this behavior is considered on the base of optical non-linearity of photorefractive crystal, and the experimental data, as well as the experimental results of several images, are given.

PACC: 7280; 4265; 4260F; 4280K